اصول طراحی بانک‌های خازنی

هدف اصلی و عمدهٔ نصب بانک خازنی جبران انرژی راکتیو مصرفی بار الکتریکی است. به دلیل تغییرات میزان انرژی مصرفی در طول زمان لازم است تا میزان راکتیو تزریق‌شده به وسیلهٔ خازن به مدار نیز تغییر کند. در غیر این صورت دو حالت پیش می‌آید:

۱) توان راکتیو کمتری نسبت به آنچه مورد نیاز است به مدار تزریق می‌شود، که باعث جبران‌سازی ناقص توان راکتیو مصرفی بار می‌شود. به ناچار کمبود توان راکتیو از طریق شبکه تأمین می‌شود که هزینه‌ها و جریمه‌های مصرف راکتیو را در بر خواهد داشت.

۲) توان راکتیو بیشتری نسبت به آنچه مورد نیاز است به مدار تزریق می‌شود که اضافه‌ولتاژ را به همراه خواهد داشت.

درصد اضافه‌ولتاژی که با وارد شدن Q کیلووار به مدار بدون حضور هیچ باری پدید می‌آید از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{u_k \times Q}{S_t}$$

که در آن u_k درصد ولتاژ ترانسفورمر و S_t قدرت ترانسفورمر است.

مثال: باری با قدرت ۳۰۰ کیلووات و ضریب توان ۰/۷ به وسیلهٔ ترانسفورمری با ولتاژ اتصال کوتاه ٤٪ و قدرت ٦۳۰ کیلو ولت‌آمپر تغذیه می‌گردد. توسط بانک خازنی به ظرفیت ۲۰۰ کیلووار ضریب توان بار به ۰/۹۵ اصلاح می‌گردد. تا قبل از جبران‌سازی ولتاژ محل مصرف برابر ۳۸۹/۷ ولت و پس از جبران‌سازی ولتاژ به ۳۹۵ ولت افزایش می‌یابد، حال اگر بار به نصف کاهش یابد ولی رگولاتور صحیح عمل نکرده و ۲۰۰ کیلووار خازن در مدار باقی بماند، ولتاژ محل تغذیه به ٤۰۰ ولت افزایش می‌یابد.

اگر ترانسفورمر تحت بار کامل بود و با جبران‌سازی مناسب ضریب توان به ۰/۹۵ اصلاح می‌گشت و به دلیل خرابی یا تنظیم ناصحیح رگولاتور با نصف شدن بار، پله‌ای از مدار خارج نمی‌گردید اضافه‌ولتاژ حاصل برابر ۲/۸٪ معادل ۱۱ ولت می‌بود.

در طراحی بانک‌های خازنی سه موضوع زیر مد نظر قرار می‌گیرند:

۱) محاسبهٔ ظرفیت مورد نیاز

۲) تعیین ظرفیت پلهٔ اول و آرایش پله‌ها

۳) گزینش تجهیزات بانک خازنی

۱) محاسبهٔ ظرفیت مورد نیاز

بهترین روش برای محاسبهٔ ظرفیت بانک خازنی استفاده از منحنی تغییرات توان اکتیو و ضریب توان بر حسب زمان است. در شرایطی که چنین منحنی هایی در دست نباشد، معمولاً با استفاده از میزان قدرت قراردادی و ضریب توان نامی بر اساس فرمول زیر مقدار راکتیو مورد نیاز را بدست می آورند.

$$Q = P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2)$$

P = میزان قدرت قراردادی بر حسب کیلو وات

$\tan(\arccos$ (ضریب توان فعلی$)) = \tan(\varphi_1)$

$\tan(\arccos$ (ضریب توان مطلوب$)) = \tan(\varphi_2)$

Q = میزان توان راکتیو مورد نیاز

۲) تعیین ظرفیت پلهٔ اول و آرایش پله‌ها

در صورت در دست داشتن منحنی تغییرات توان اکتیو بر حسب زمان با استفاده از شیب منحنی می‌توان ظرفیت اولین پله را تعیین کرد. در صورت در دست نبودن این منحنی از دو قانون زیر می توان استفاده کرد:

الف) در صورتی که لازم باشد رگولاتور به ۵٪ تغییرات بار پاسخ دهد، پلهٔ اول را ۵٪ ظرفیت کل تابلو انتخاب می‌نمایند، مثلاً در یک بانک ۲۰۰ کیلوواری با پلهٔ اول ۱۰ کیلووار که باری با ضریب توان ذاتی ۰/۷ را جبران می‌کند، به ازای هر ۱۵ کیلووات تغییر در بار، یک پله وارد یا خارج می‌شود (ضریب توان مطلوب ۰/۹۵ فرض شده است.)

ب) در صورت عدم نیاز به تنظیم دقیق یا تغییرات بزرگ بار برای آن که رگولاتور به ۱۰٪ تغییرات بار پاسخ دهد لازم است پلهٔ اول ۱۰٪ ظرفیت کل انتخاب گردد. بدین معنی که در شرایطی مانند حالت (الف) به ازای هر ۳۰ کیلووات تغییر در میزان توان ۲۰ کیلووار به مدار وارد یا خارج می‌گردد.

آرایش پله‌ها:

شرایط قانون (الف) را در نظر می گیریم. پلهٔ اول برابر ۱۰ کیلووار می‌باشد. برای رسیدن به ظرفیت ۲۰۰ کیلووار به ۲۰ عدد پله ۱۰ کیلووار نیاز داریم که تعداد بسیاری است و در هنگام ساخت بانک باعث افزایش قیمت تمام‌شده می‌شود؛ روش دیگر استفاده از توالی 1:2:2:2:... است، در این صورت تعداد پله‌ها به ۱۰ کاهش می‌یابد ولی نمی‌توانیم به ظرفیت ۲۰۰ کیلووار برسیم. تنها راه حل نصب یک پله ثابت ۲۰ کیلووار است. این روش، روش مناسبی نمی‌باشد.

محدودیتی که مشاهده شد انگیزه‌ای برای ایجاد دیگر آرایش‌ها و توالی‌های پلهٔ خازنی گشت و آرایش‌هایی مانند: 1:2:2:4:8:... و 1:2:4:8:8:8 به وجود آمد. اخیراً رگولاتورهایی طراحی گشته‌اند که می‌توانند آرایش 1:2:4:8:16:32:64 را پشتیبانی کنند که با چنین رگولاتورهایی می‌توان بانکی به ظرفیت ۱۲۷۰ کیلووار با پله اول ۱۰ کیلووار ایجاد نمود.

۳) گزینش تجهیزات جانبی خازن

خازن برخلاف دیگر تجهیزات برقی همیشه تحت اضافه‌بار است. حضور تنها درصد ناچیزی هارمونیک یا اعوجاج در ولتاژ محل تغذیه باعث اضافه‌جریان در خازن می‌گردد. بر این اساس در استاندار تعیین شده است که خازن‌ها باید حداقل ۳۵٪ اضافه‌جریان را به صورت دائمی تحمل کنند. با توجه به این مطلب که خازن همیشه تحت اضافه‌بار (به ویژه اضافه‌جریان) است و جریان خازن از فیوز، شین، و کنتاکتور عبور می‌کند لازم است تمامی تجهیرات جانبی خازن بر اساس ۳۰٪ اضافه جریان انتخاب گردند. به عنوان مثال برای انتخاب کنتاکتور و فیوز برای یک پلهٔ ۱۲/۵ کیلووار به صورت زیر عمل می‌شود:

جریان نامی خازن ۱۲/۵ کیلووار = ۱۸ آمپر

جریان معیار طراحی = ۱/۳ × ۱۸ = ۲۳/٤ آمپر

کنتاکتور، سیم، وفیوز مناسب اولین رِنجی است که جریان نامی آن برابر یا بیشتر از ۲۳/٤ آمپر باشد.

چند نکته:

الف) برای افزایش طول عمر یک بانک خازنی قویاً توصیه می‌گردد که از کنتاکتورهای تیپ AC6-b استفاده شود. در صورت استفاده از کنتاکتورهای AC3، در لحظهٔ وصل خازن پیک جریان هجومی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد.

$$I = In\sqrt{\frac{2S_t}{u_k Q}}$$

که در آن S_t قدرت ترانسفورمر، I_n جریان نامی پلهٔ خازنی، u_k ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورمر، و Q ظرفیت نامی پلهٔ خازنی است.

مثال: یک خازن ۵۰ کیلووار در سمت ٤۰۰ ولت یک ترانسفورمر ۲۰ به ٦/٤ کیلوولت نصب شده است. اگر مشخصات ترانسفورمر ٦۳۰ کیلو ولت آمپر و $K =$٪٤ باشد، در لحظهٔ وصل جریانی با پیک ۳۱/۵ کیلوآمپر معادل ٦۳۰ برابر جریان نامی به داخل خازن جاری می‌شود، حال اگر به جای یک ۵۰ کیلووار از چهار عدد ۱۲/۵ کیلووار

که به صورت موازی وصل شده‌اند استفاده شود، پیک جریان هر خازن به ۷/۹ کیلوآمپر معادل ٤۳۷ برابر جریان نامی به داخل خازن جاری می‌شود.

در جدول ذیل مقایسه ای بین حالتهای متفاوت در گزینش تجهیزات جانبی انجام پذیرفته است.

شرح	نوع کنتاکتور	۵۰ کیلووار	۱۲/۵ × ٤ کیلووار
جریان نامی	AC3	۷۲	۷۲
	AC6-b	۷۲	۷۲
پیک جریان لحظه وصل	AC3	۳۱/۵ کیلوآمپر = ٦۳۰ × I_n	۷/۹ کیلوآمپر = ٤۳۷ × I_n
	AC6-b	۱۳ کیلوآمپر = ۱۸۰ × I_n	۱۳ کیلوآمپر = ۱۸۰ × I_n
فرکانس جریان	AC3	۸۹۲/٤ هرتز	۸۹۲/٤ هرتز
	AC6-b	۸۹۲/٤ هرتز	۸۹۲/٤ هرتز
مدت زمان	AC3	۳٦ میلی‌ثانیه	۳٦ میلی‌ثانیه
	AC6-b	٦ میلی ثانیه	٦ میلی‌ثانیه

ب) بر اساس استاندارد وظیفهٔ فیوز در بانک‌های خازنی تنها قطع اتصال کوتاه است و نمی‌تواند وظیفهٔ حفاظت در برابر اضافه‌بار (جریان) را بر عهده بگیرد و حفاظت در مقابل اضافه‌بار (جریان) بر عهدهٔ رگولاتور است.

بحث طراحی و حفاظت بانک‌های خازنی بسیار مفصل و طولانی است و حتی در چند مقاله نیز نمی‌توان این بحث را به پایان برد. هدف این مقاله تنها ارائهٔ اطلاعات و روش‌های بسیار ساده در طراحی بانک‌های خازنی بود. از دیگر موارد مطرح در طراحی بانک خازنی می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- ❖ گزینش فیوزهای حفاظتی که به صورت سری در یک بانک خازنی قرار می‌گیرند
- ❖ حداکثر ظرفیت مجاز یک پله
- ❖ رگولاتور (برای اطلاعات بیشتر به مقالهٔ «رگولاتور چیست و چگونه کار می‌کند» مراجعه نمایید.)
- ❖ تنظیم رله‌های هارمونیکی تعبیه‌شده در رگولاتور
- ❖ اصول تنظیم رلهٔ اضافه‌جریان
- ❖ حفاظت در برابر اعوجاجات
- ❖ هماهنگی بین سیستم مخابراتی و بانک خازنی
- ❖ مسألهٔ انتقال حرارت در بانک‌های خازنی

- قدرت اتصال کوتاه تابلو
- بانک‌های خازنی با سرعت بسیار بالا (Thyristor Capacitor Bank)
- بانک‌های خازنی در حالت‌های گذرای سیستم
- جبران‌سازی بارهای موتوری